

SISTEMA DE CONTROL PARA EL SEGUIDOR SOLAR DE UN CONCENTRADOR TIPO FRESNEL

D. Hoyos T. Moya R. Echazú A. Hernández
INENCO – Instituto UNSa. – CONICET
Universidad Nacional de Salta
Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina
FAX 54 387 4255489 – e-mail: hoyosd@unsa.edu.ar

RESUMEN: El presente trabajo tiene por objeto describir el sistema de control de un concentrador tipo Fresnel. Éste se desarrolló con el objeto de dimensionar, probar y optimizar las distintas partes de los subsistemas de control y accionamiento, como también los algoritmos de control que se utilizarán en una planta a mayor escala que se proyecta. Se obtuvo un sistema muy robusto y flexible con el que se puede verificar cada parte de los equipos y optimizar los algoritmos de control. Se desarrollaron bloques funcionales básicos englobados en un sistema de mayor complejidad que permite controlar el concentrador. Se utiliza una PC que tiene instaladas placas de adquisición de datos y control manejadas por el programa LABVIEW.

Palabra clave: Energía Solar, CLFR, tecnología, control, electrónica

INTRODUCCIÓN

En los concentradores de tipo fresnel, (Welford et al 1989; Mills et al 2000, 2004) los reflectores son cilindro parabólicos pero de baja curvatura. Se instalan a nivel del piso y siguen la trayectoria aparente del sol girando alrededor de ejes horizontales. Los reflectores concentran la radiación solar directa en un absorbedor que se encuentra fijo a algunos metros de altura. Éste consiste en una torre lineal con la cavidad en su cara inferior Gea, (2007).

Este tipo de concentradores debe orientar el espejo de forma tal que refleje los rayos del sol sobre un concentrador que se encuentra ubicado a una altura de 10 m. Los espejos deben girar, siguiendo la trayectoria del sol para mantener los rayos reflejados sobre el absorbedor, si analizamos el espejo que se encuentra debajo de éste, el mismo debe estar a 45° este al amanecer de cada día y terminar el día a 45° oeste, por lo tanto debe recorrer 90° en el transcurso del día.

En la figura 1 se muestra un montaje de prueba sobre el extremo de un espejo, con el mecanismo de movimiento formado por un motor paso a paso y una caja reductora acoplada al mismo, la interfaz de potencia y la PC embebida que controla el sistema. Este montaje permitió probar distintos motores e interfaces de potencia.



Figura:1 Instalación de prueba

Para determinar la velocidad de los espejos se debe calcular la hora del amanecer y del atardecer de cada día del año Duffie, (1991) en la figura 2 se muestra la hora de salida y puesta del sol en hora solar y en hora del reloj.

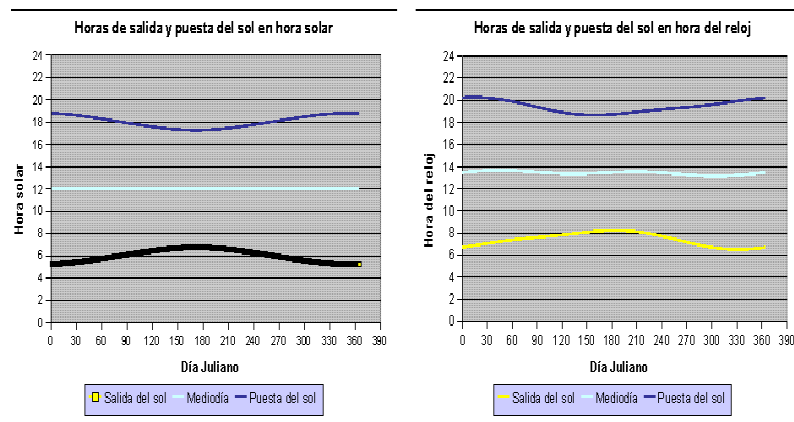


Figura2: Hora de salida y puesta del sol en hora solar y en hora de reloj

Se puede observar de esta figura que las horas del amanecer y la duración del día son variables con el día del año por lo tanto el espejo para seguir el sol debe comenzar a su movimiento siempre a 45 pero a distinta hora reloj todos los días y su velocidad debe ser distinta según la época del año. Para los espejos que se encuentran en otra posición debe comenzar el movimiento a la misma hora pero con ángulos distintos.

El concentrador se encuentra a una altura de 10 metros y tiene un ancho de 0,4 m lo que implica que los rayos de sol deben concentrarse en 2,29 grados, el sistema de control debe tener una precisión del movimiento de al menos. El sistema entonces debe discriminar al menos 2 minutos de grado sobre el concentrador. Lo que implica que el movimiento del espejo debe tener al menos 1 minuto de grado de precisión.

Se puede observar de esta figura que las horas del amanecer y la duración del día son variables con el día del año por lo tanto el espejo para seguir el sol debe comenzar a su movimiento siempre a 45° pero a distinta hora reloj todos los días y su velocidad debe ser distinta según la época del año. Para los espejos que se encuentran en otra posición debe comenzar el movimiento a la misma hora pero con ángulos distintos.

DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Existen diversas soluciones para realizar el control de este sistema que se pueden dividir en realimentadas y no realimentadas (Hoyos et al, 2008; Clifford et al, 2004; Dobon et al, 2003) la solución mas precisa aparenta ser una combinación de ambos sistemas de forma que sean redundantes y por lo tanto cuando uno de ellos falle el otro corrija este error. Resulta sencillo calcular la hora del amanecer y la duración del día con mucha precisión, de la misma forma que resulta sencillo encontrar la posición a partir del cual el sistema debe arrancar al amanecer, la misma se determina teniendo en cuenta la disposición del concentrador con respecto a cada uno de los espejos. En cambio medir la radiación para orientar correctamente el espejo es muy complejo dado que una nube puede producir una pérdida de posición del sensor. Por lo tanto se utilizará el control no realimentado para verificar el funcionamiento del control realimentado en caso que exista radiación suficiente.

El esquema general del control del sistema es el mostrado en la figura 3.

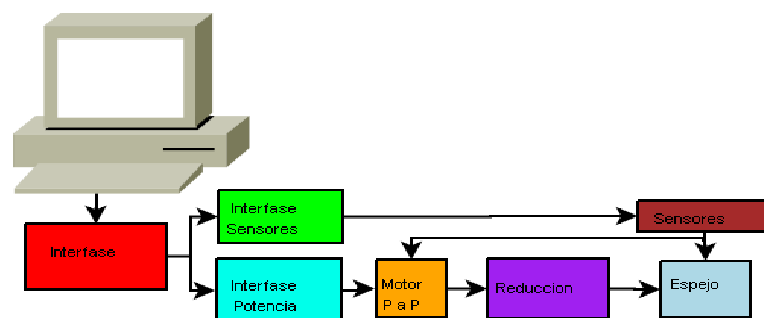


Figura 3:Diagrama General del sistema de Control

Se utiliza un motor paso a paso que posibilita un control preciso del ángulo de los espejos, dos sensores de radiación que permiten corregir en caso de error en el movimiento del sistema, una interfase de potencia para el motor, la cual es controlada por una placa de adquisición de datos y control 6040E la cual es controlada por una computadora embebida PXI- 8155b para

realizar el control del sistema, ambas de *National Instruments*. La interfase de potencia fue desarrollada especialmente para este fin.

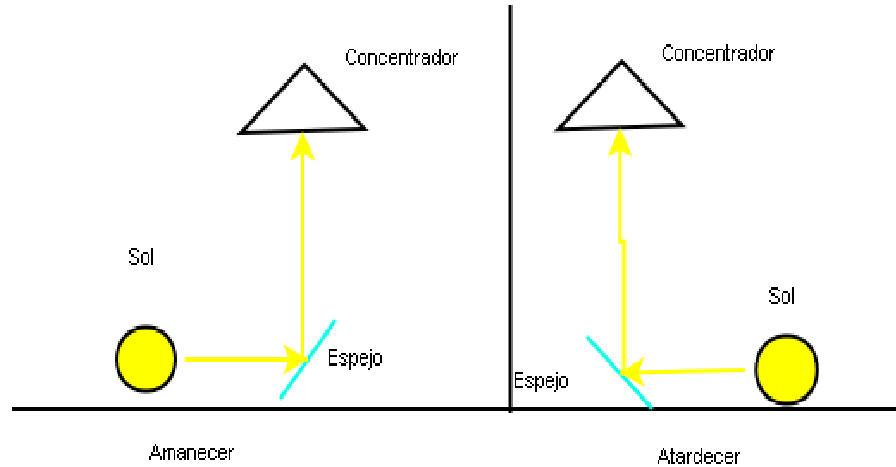


Figura4: Esquema del movimiento del espejo

Este dispositivo debe seguir al sol desde el amanecer hasta el atardecer como se muestra en la figura 4 y si suponemos que el espejo está debajo del absorbedor, su movimiento debe comenzar a 45° y recorrer 90° hasta el atardecer. Si la reducción es de 100 y el paso del motor es de 1.8 ° la cantidad de pasos del motor debe ser 5000 de acuerdo a la ecuación presentada abajo

$$N_{pasos} = \text{angulo} * N_{red} / \text{paso_angular}$$

N_{red} =Reducción (1:100)

Paso_angular: grados recorridos por un motor en un paso (1,8)

Durante la noche se debe proteger los espejos por lo tanto se colocan mirando al piso, entonces el dispositivo debe recorrer 135 grados lo que en pasos de motor implican 7500 pasos. Para volver a la posición inicial al amanecer debe volver 12.500 pasos. La velocidad de estos dos movimientos está limitada por la máxima velocidad posible del motor y la inercia del sistema. Se determinó experimentalmente que una velocidad que no produce fallas en el motor es 1 KHz. Suponiendo que un paso en el día es de 8,64 seg. el tiempo de paso del motor sería de 0,0432 y colocaría en reposo al sistema en 5,4 minutos. Luego al amanecer reposicionaría al sistema en 9 minutos. La figura 5 representa el movimiento descrito.

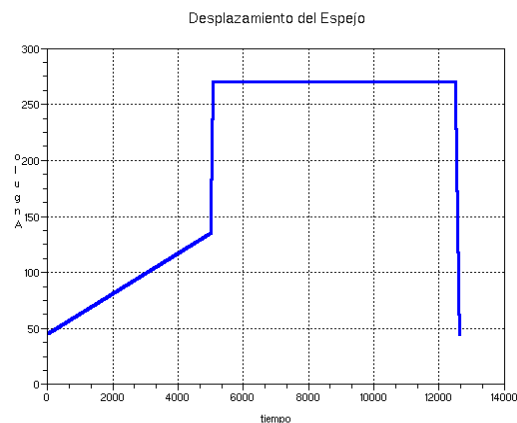


Figura 5: Movimiento de los espejos en un día

El control del sistema utiliza la hora del amanecer para comenzar el movimiento y la duración del día para determinar el tiempo entre pasos del motor. Estos parámetros varían en función de la latitud y longitud del lugar y del día del año, Duffie, (1991) como se muestran en las gráficas de la figura 6.

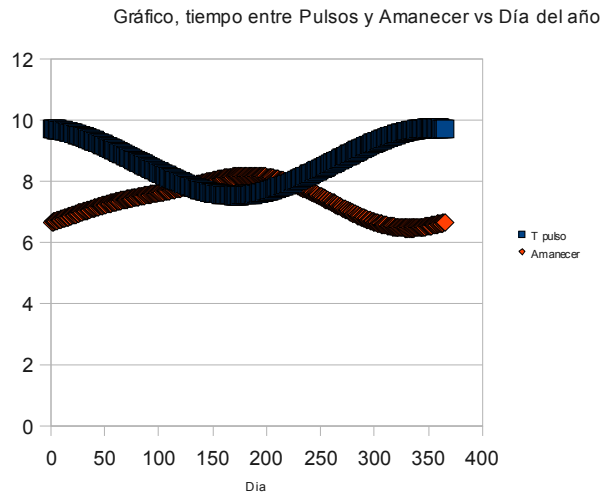


Figura 6: Gráficos del amanecer[horas] y el tiempo entre pulsos del motor [seg] en función del día del año

DESCRIPCIÓN DE LABVIEW

El concepto de instrumentación virtual surgió hace más de 25 años de la combinación de hardware para la adquisición de datos y software para su análisis y presentación. Cuando esta sinergia utiliza tecnologías comerciales como las PCs se obtienen ventajas de costo y rendimiento asombrosas; así los instrumentos virtuales destacan sobre los autónomos tradicionales por su flexibilidad y bajo costo.

Labview se desarrolló originalmente como una herramienta para instrumentación virtual y hoy en día es una de las implementaciones de software más evolucionadas para medida, prueba y control. Posee un lenguaje de programación gráfico que, basado en el modelo de flujo de datos, permite intuitivamente aprovechar la programación en paralelo sin ser experto en lenguajes de bajo nivel e independientemente del hardware usado. Incluye una multitud de funciones y algoritmos específicos para análisis, procesamiento y visualización de señales, almacenamiento de datos, conectividad con sensores e instrumentos, etc. Una VI (Virtual Instrument) es una subrutina que se programa gráficamente, a partir de este párrafo se utilizará VI como indicador de subrutina gráfica

El equipo utilizado corre Labview 5 en una controladora PXI-8155 montada en un chasis NI PXI-1000B y posee un módulo 4060 de entrada/salida digital.

SOFTWARE UTILIZADO

Se desarrolló un programa basado en programación gráfica G, para controlar el dispositivo, el cual se pasa a describir. Este programa tiene una sección de cálculo y una sección de control. El programa principal o VI (Virtual Instrument), Los datos de entrada del programa son la latitud y la longitud del lugar, el día del año y la hora. Éstas dos últimas variables se obtienen del reloj de la computadora. calcula la hora del amanecer y la duración del día y en función de esos datos la duración del paso del motor. Inicia la VI de control Principal al amanecer y la detiene 20 minutos antes del nuevo amanecer, en ese instante ya deben estar colocados los espejos en posición para comenzar el nuevo día.

El tiempo entre pasos se modifica para corregir errores como una asimetría en el sistema mecánico o cuando se presenta algún problema de fricción en el mecanismo, el sistema corrige la posición de los espejos variando el tiempo de duración del ciclo de la VI principal, de forma que si el espejo se retrasó se disminuye el tiempo del ciclo y si el espejo se adelantó se aumenta la duración del ciclo compensando así el desenfoque del sistema. En esta VI se toma una señal proveniente de un sensor de posición desarrollado especialmente para este fin Cadena, (2009) el cual da información diferencial en donde se muestra el adelanto o el retraso de los espejos. Para asegurar que se disponga de radiación directa se mide en un sensor de radiación 2, si la misma es mayor que un umbral se activa el control analógico y en caso contrario se utiliza la calculada con el día del año. Cuando se activa el control analógico se toma la medida del sensor diferencial se amplifica y se la suma al tiempo entre pasos de esta forma al aumentar o disminuir la velocidad del movimiento se corrige la posición. En la figura 6 se muestra la VI principal.

Figura 6: Programa Principal

Utilizando las ecuaciones de cálculo del amanecer en una superficie horizontal Duffie, (1991) se construyó una VI de cálculo del amanecer la cual utiliza una función para el cálculo de la hora standard y otra que calcula la declinación solar. Esta última calcula la duración del día y el tiempo entre pasos del motor. Se muestra la interfaz gráfica en la figura 7.

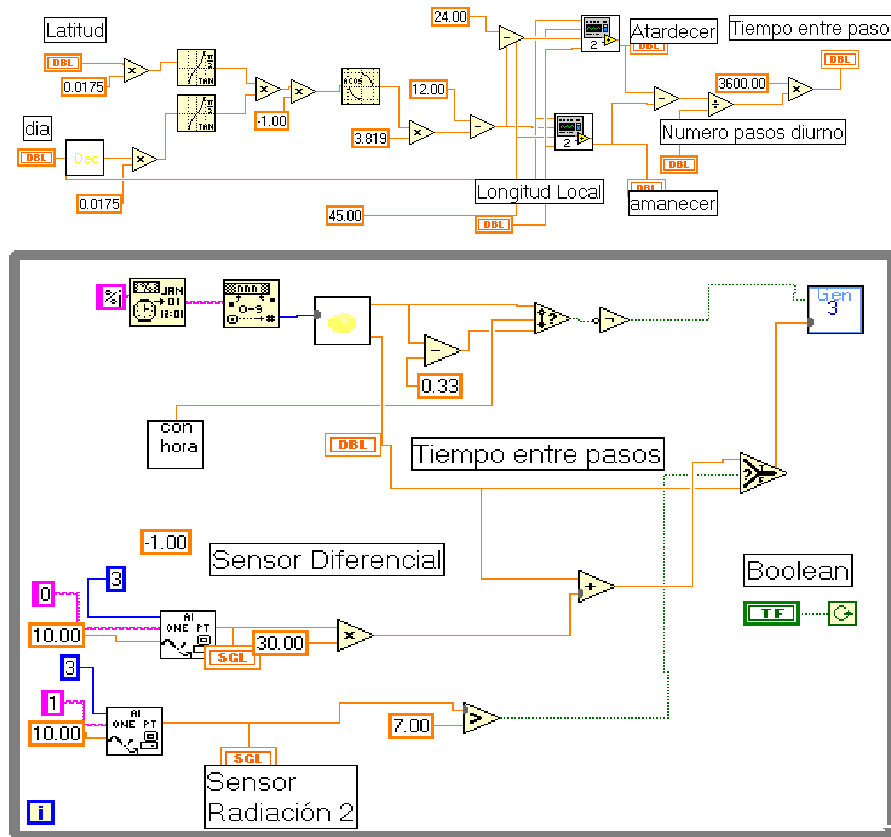


Figura 7: Vi Cálculo de Amanecer y atardecer

VI PRINCIPAL

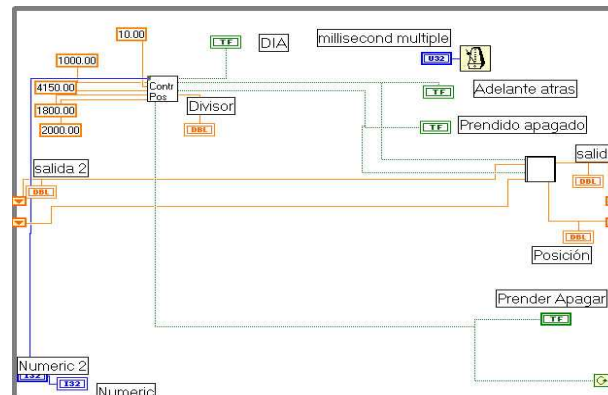


Figura 8: Programa de control Principal

La VI de control principal que se muestra en la figura 8 utiliza el Sub VI Control de Posición y Control del Motor. El subVI "Control de Posición" posee la lógica de control para determinar el estado del sistema (día, noche, amanecer o emergencia) y las acciones necesarias (avance, retroceso o espera). El sub Vi "Control del Motor" se encarga de enviar la secuencia de órdenes que permite mover el motor. Los motores paso a paso necesitan recibir una secuencia de pulsos para avanzar o retroceder, utilizando un registro de corrimiento se memoriza la posición anterior lo que permite conocer el siguiente paso a realizar.

CONTROL POSICIÓN

El subVI “Control de Posición”, figura 10, en función del reloj determina en que momento del día se encuentra y utilizando comparadores y lógica booleana se determina las acciones a seguir, que el motor: esté detenido o en movimiento, avance o retroceda, y la velocidad con la que se debe mover.

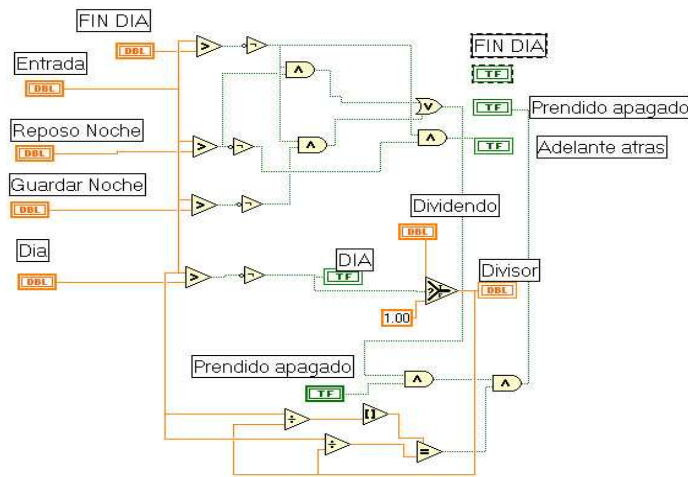


Figura 10: Sub Vi Control de posición

CONTROL DEL MOTOR

El subVI “Control de Motor” es quien maneja el puerto de salida que activará los bobinados del motor paso a paso. Se encarga de enviar siempre la secuencia correcta según el sentido de rotación y además contabiliza los pasos para determinar en todo momento la posición de los espejos. Los motores paso a paso están dimensionados para funcionar en tensión en todo momento, por eso producen un consumo de energía importante que puede ser ahorrado ya que la reducción utilizada es irreversible, por lo tanto se propone apagar el motor una vez que haya realizado el paso. De esta forma se ahorra muchísima energía si el pulso es de 10 ms y el tiempo entre pasos es de 8 s el ahorro es de 99% de la energía de la instalación.

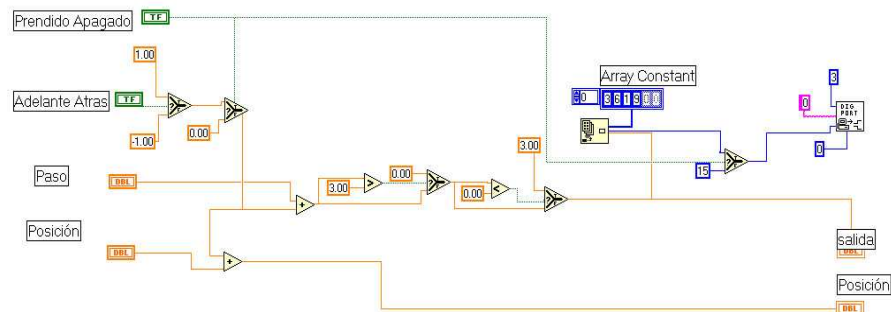


Figura 11: SubVi Control del motor

INTERFASE DE POTENCIA

Se diseñó una interfase de potencia utilizando MOSFET tipo N la que permite manejar un motor paso a paso con una corriente de hasta 50 A y 55V lo que permite operar casi cualquier Motor Paso a Paso unipolar se muestra el circuito en la figura 12.

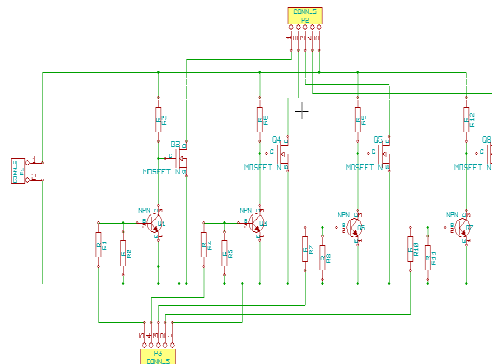


Figura 12: Interfase de potencia

CONCLUSIONES

El sistema controla el motor con una precisión de 1.8° en el eje del motor en todo el recorrido. La reducción le imprime un pequeño error de 0.5 minutos, consume poca energía y es fácilmente modificable. Dada las características del software y del hardware utilizado es muy robusto y fue probado durante varios días sin presentar errores. El sistema mecánico es muy robusto pero presenta un torque variable ya que los espejos no están ubicados sobre su centro de masa. Lo que somete al motor a mas sollicitaciones de las esperadas.

El sistema realimentado es utilizado para compensar situaciones no previstas, de la observación del movimiento se encontró que el rayo que incide sobre el absorbedor se mueve cerca de 10 cm dentro del mismo, lo que plantea que la velocidad del motor no debe ser constante y se debe analizar con mas detalles la trayectoria de los rayos, o aumentar la realimentación del sistema de forma de compensar el efecto anteriormente citado.

Se utilizó un motor paso a paso EM 181 que se sobrecalienta y por lo tanto esta siendo reemplazado por un motor 23HS2821 que cuenta con un par motor mayor que el utilizado.

Este sistema se utiliza como prototipo para el desarrollo del sistema definitivo, en el cual se reemplazará la placa de adquisición de datos por una red de microcontroladores que cumplirá partes de las funciones de las VI optimizando sus programas de las experiencias adquiridas en este equipo. No se realizó la corrección por año bisiesto en las VI de declinación solar.

REFERENCIAS

Cadena C., Echazú R. (2009), Sistema de enfoque y seguimiento para espejos planos de gran longitud. Presentado en ASADES 2009.

Clifford M.J. y D. Eastwood, (2004) "Design of a Novel Passive Tracker", *Solar Energy*, vol. 77 (3), pp. 269-280.

Dobon F., A. Lugo, y J. Monedero, (2003) "First Results of the Tetra-Track System and Control Electronics", *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, IEEE & WCPEC-3, Osaka, pp. 2050-2053,.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.

Gea M., Saravia L. et al "Concentrador Lineal Fresnel para la Generación Directa de Vapor de Agua" AVERMA Vol 11, 2007 - ISSN 0329-5184

D. Hoyos, M. Gea, C. Cadena y R. Echazú (2008) Diseño y construcción de seguidores solares análisis y comparación. AVERMA Vol 12

K. Karimov, M. Saqib, and P. Akhter, (2005), "A Simple Photovoltaic Tracking System", in *Solar Energy: Materials and Solar Cells*, vol. 87 (1-4), pp. 49-59

Mills D., Morrison G., (2000). Compact Linear Fresnel Reflector Solar Thermal Power Plants. *Solar Energy* Vol. 68, No.3, pp.263 – 283.

Mills D. (2004). Advances in Solar Thermal Electricity Technology. *Solar Energy* Vol. 76, pp. 19-31.

Welford W. T. y Winston R. (1989) *High Collection Nonimaging Optics* Academic Press Inc., USA, ISBN 0-12-742885-2

ABSTRACT In this paper a control soft was made in orther to test and optimize the mirror's movement of a fresnel concentrator power plant. A robust and flexible system was obtained. Data adquisition system and Lab View working at PC are used.

Keywords: Solar energy, CLFR, tecnology, control, electronics